

**CONTRIBUCIÓ A L'ESTUDI DE LA MODELITZACIÓ I
L'OPTIMITZACIÓ DE L'OPERACIÓ DE PLANTES
QUÍMIQUES MULTIPROPÒSIT DE
FUNCIONAMENT DISCONTINU**

Memòria de Tesi Doctoral

presentada per en

MOISÈS GRAELLS I SOBRÉ

per optar al grau de

Doctor en Ciències Químiques

per la Universitat Politècnica de Catalunya

Barcelona, desembre de 1995

Departament d'Enginyeria Química

Escola Tècnica Superior d'Enginyers Industrials de Barcelona

Universitat Politècnica de Catalunya



Fig. A10. Campaña de productos que comparten equipos no limitants CM043.

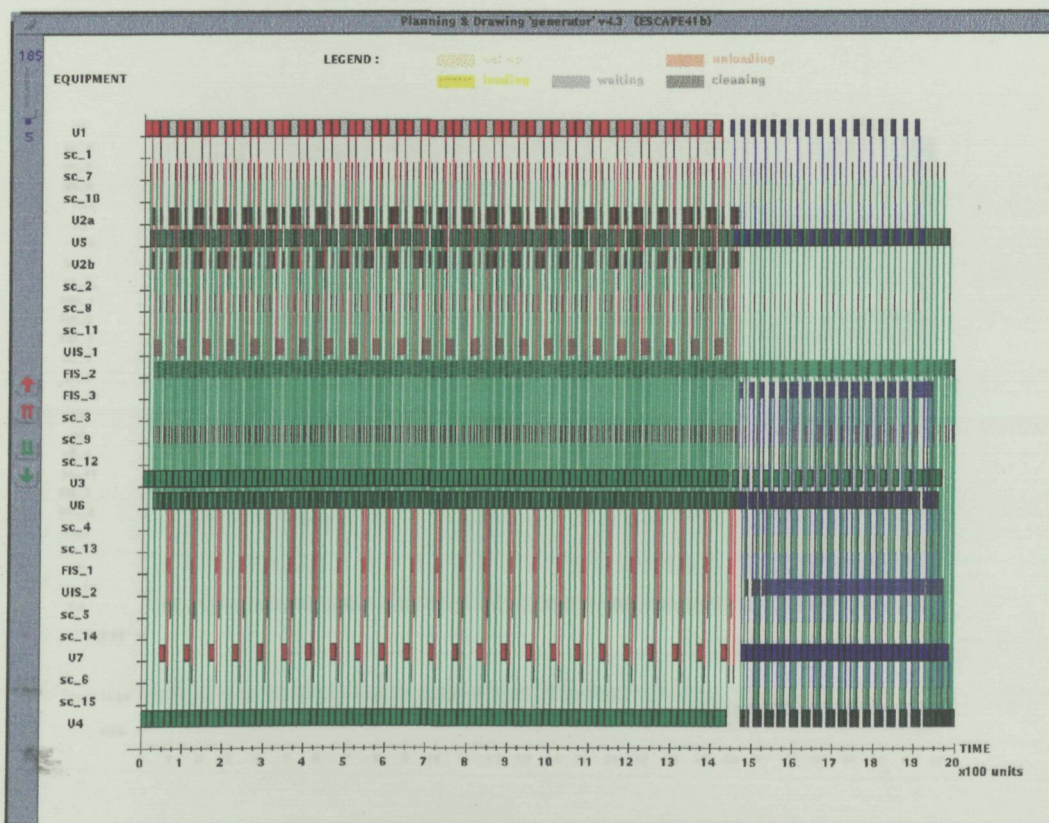


Fig. A11. Pla de producció amb campanyes multiproducte (1b).

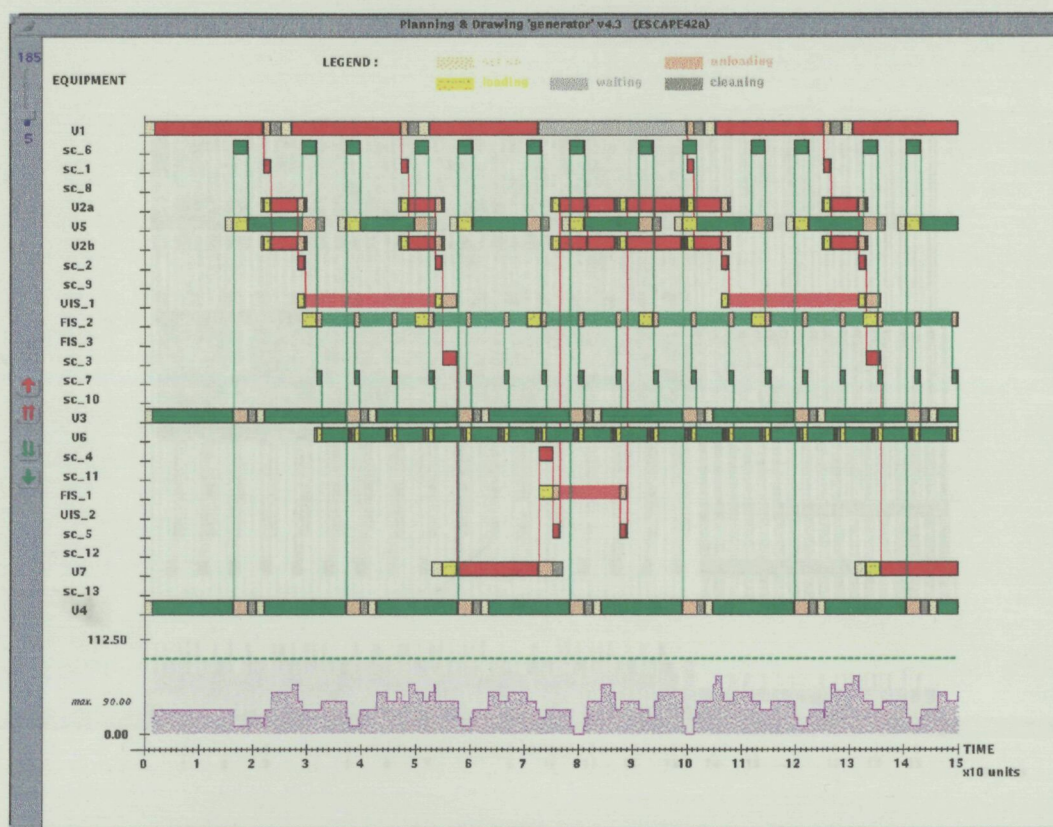


Fig A12. Inclusió d'operacions de preparació, neteja i transferència (unitats semicontínues).

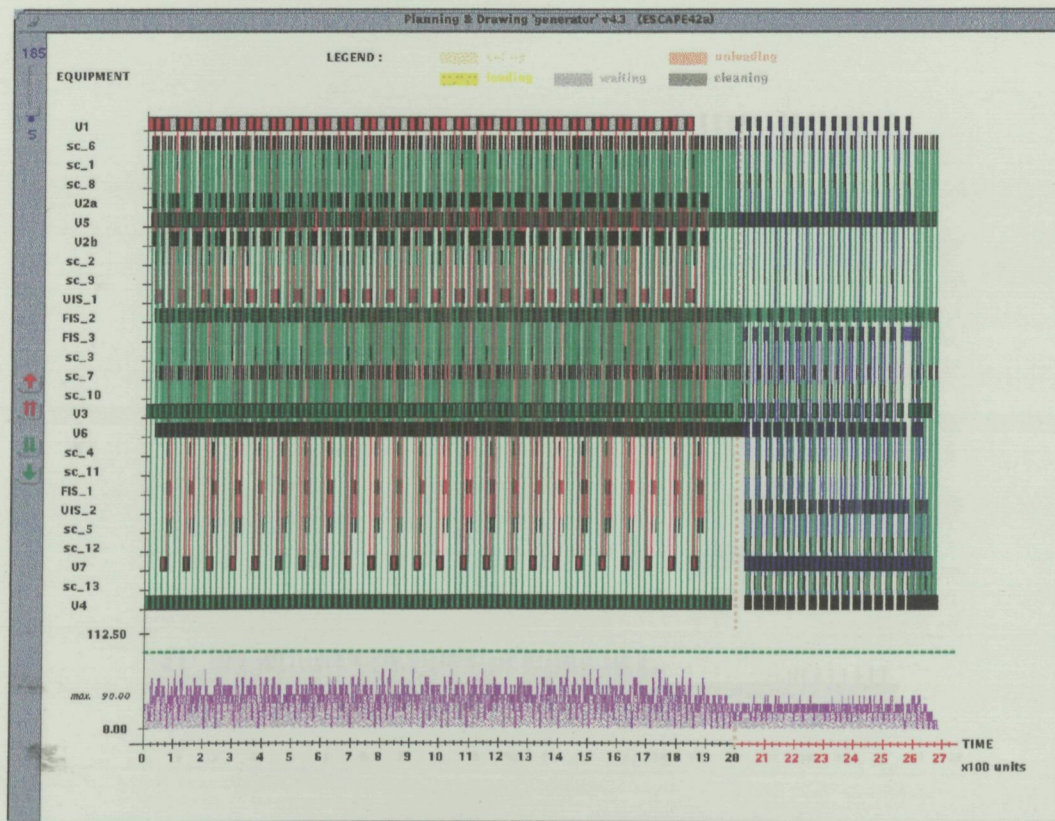


Fig. A13. Efecte de la consideració de subtasques en el pla de producció (2a).

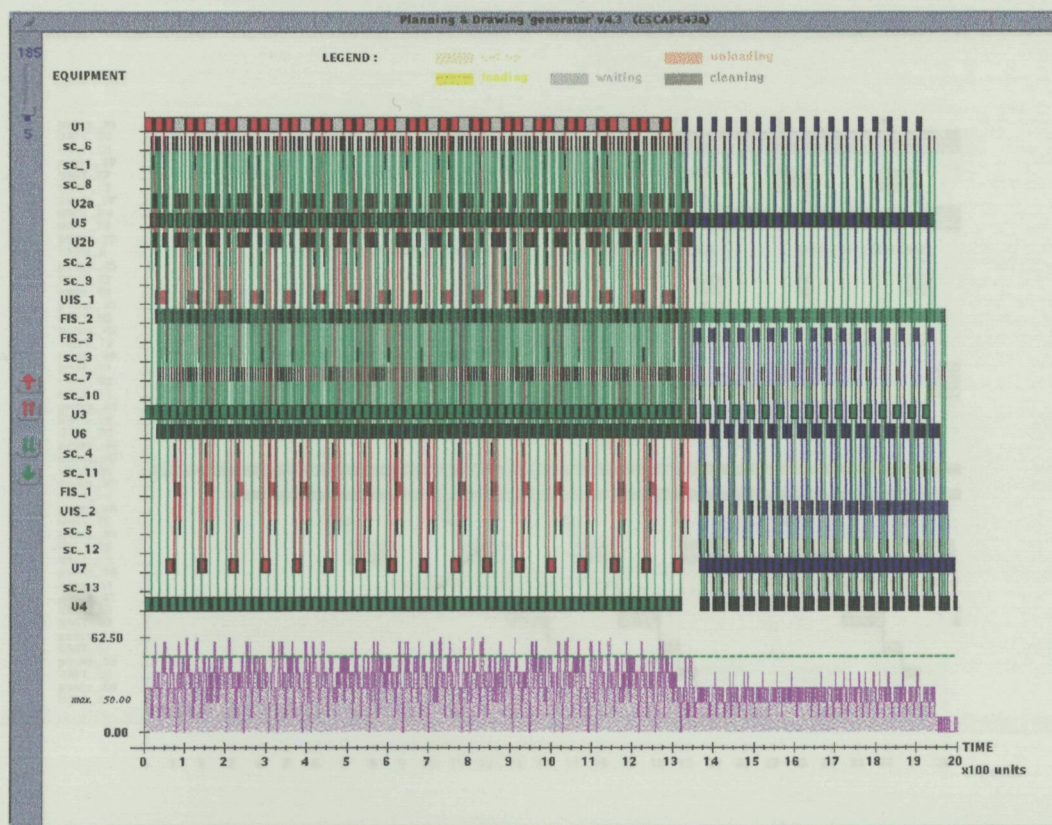


Fig. A14. Ajust de la producció (2a) i posterior inclusió de limitació de serveis (3a abans).

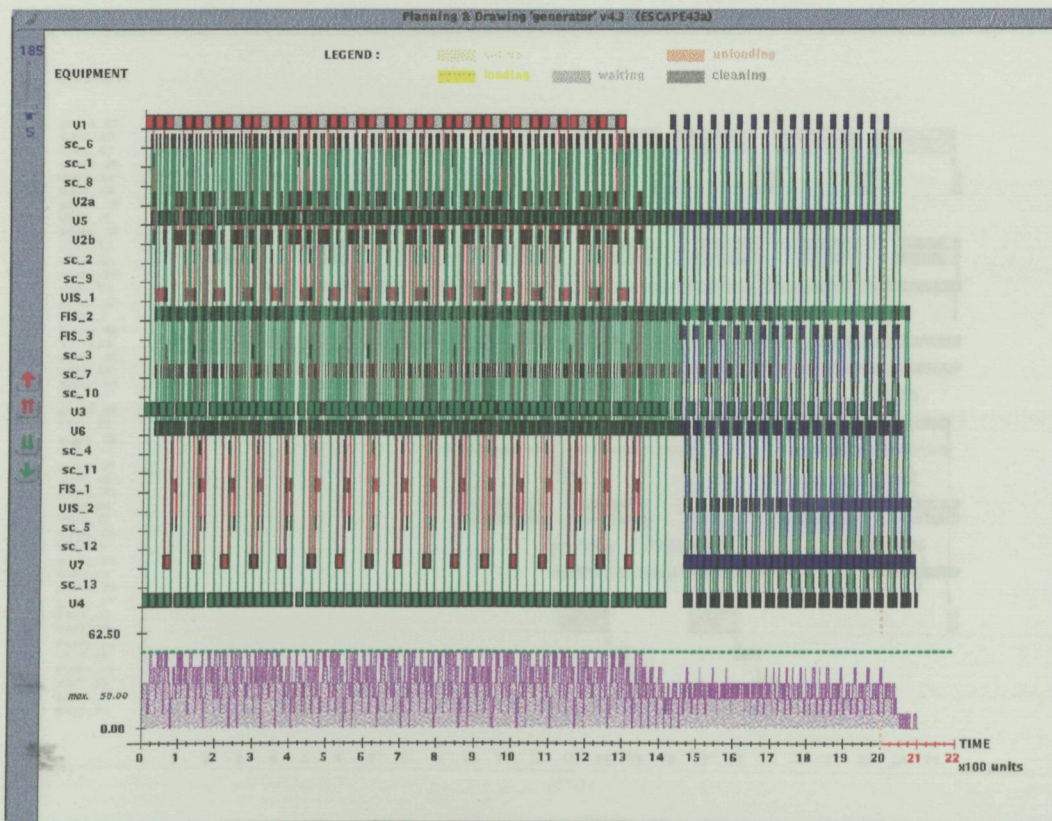


Fig. A15. Retard d'operacions per satisfer les restriccions (3a després).

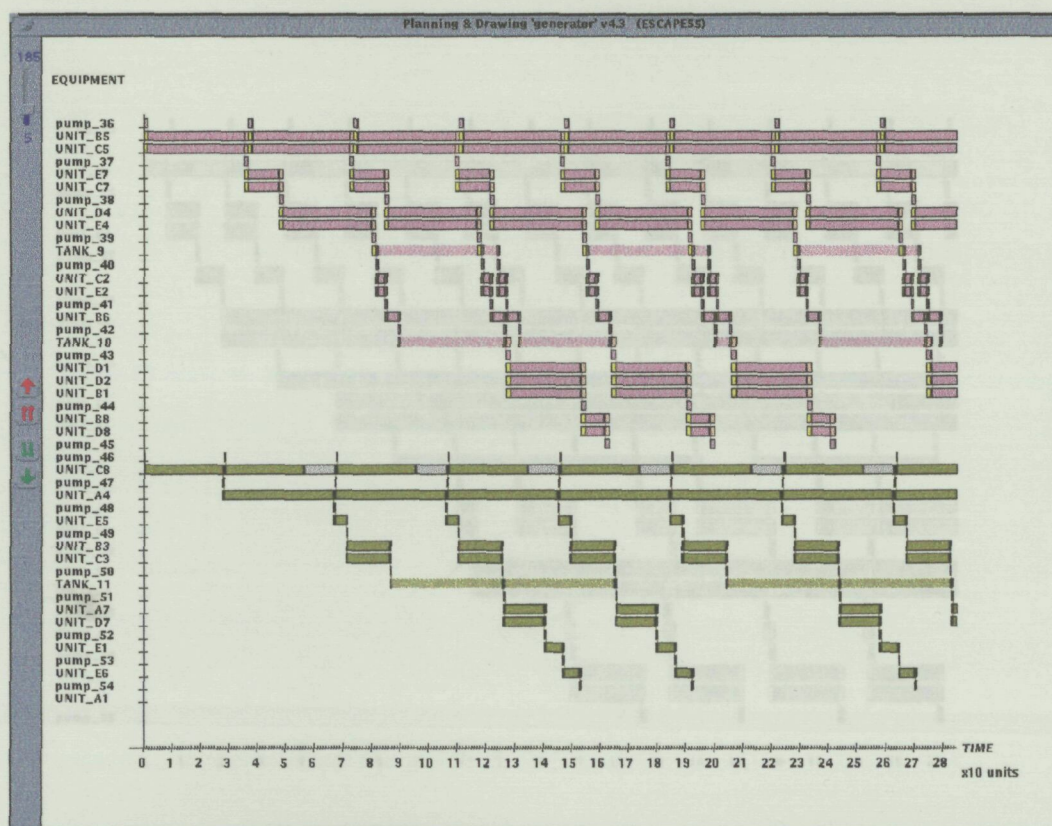


Fig. A16. Exemple ESCAPE_5. Campanyes de productes compatibles.

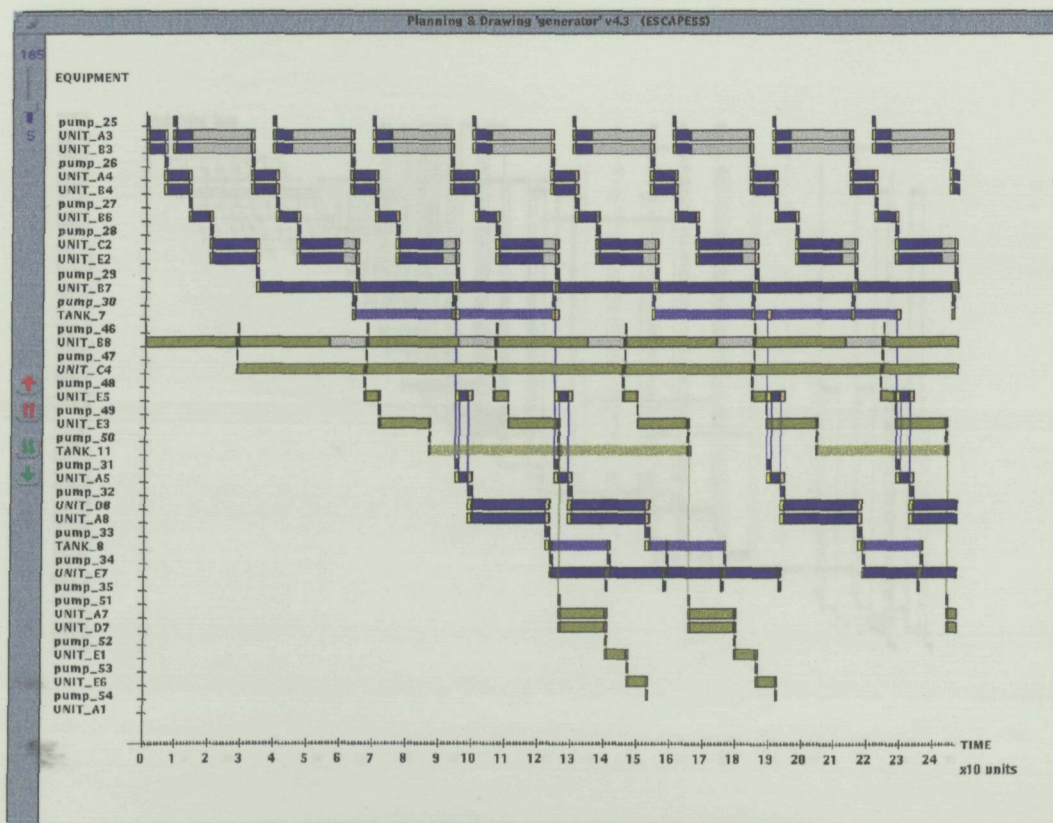


Fig. A17. Rutes quasi compatibles. Es comparteixen equips no limitants.

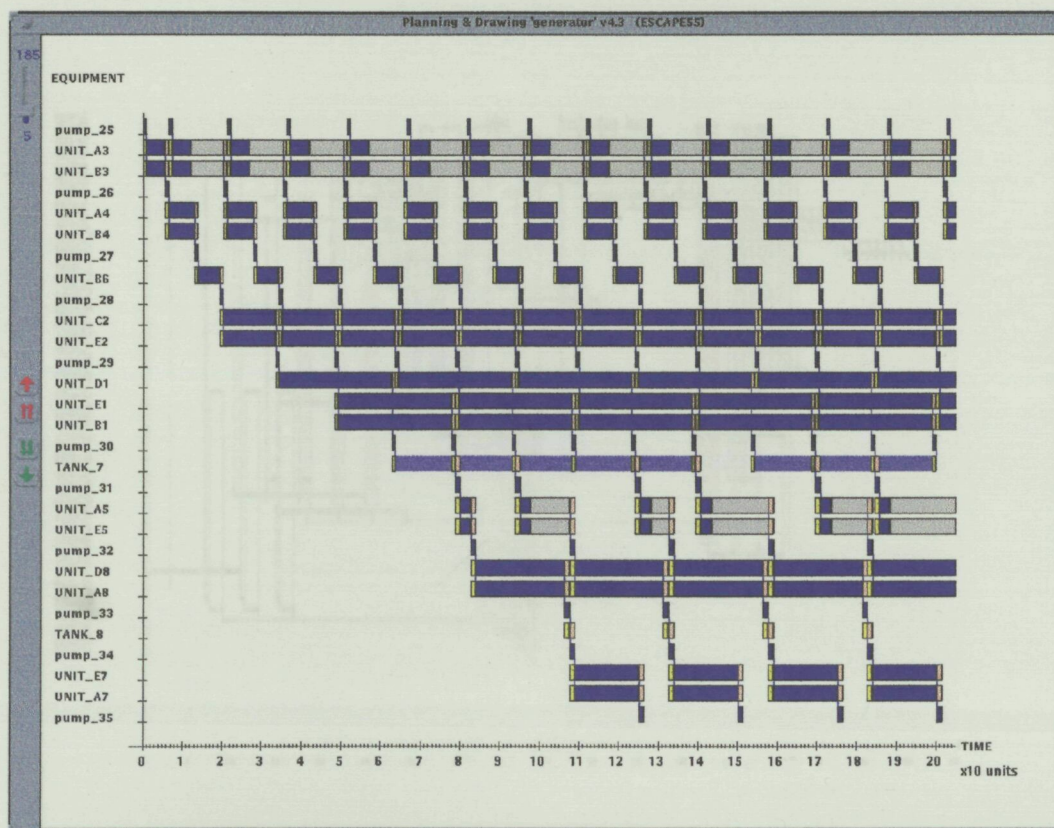


Fig. A18. Ruta heterogènia per al producte 3 amb grups d'equips en fase i fora de fase.

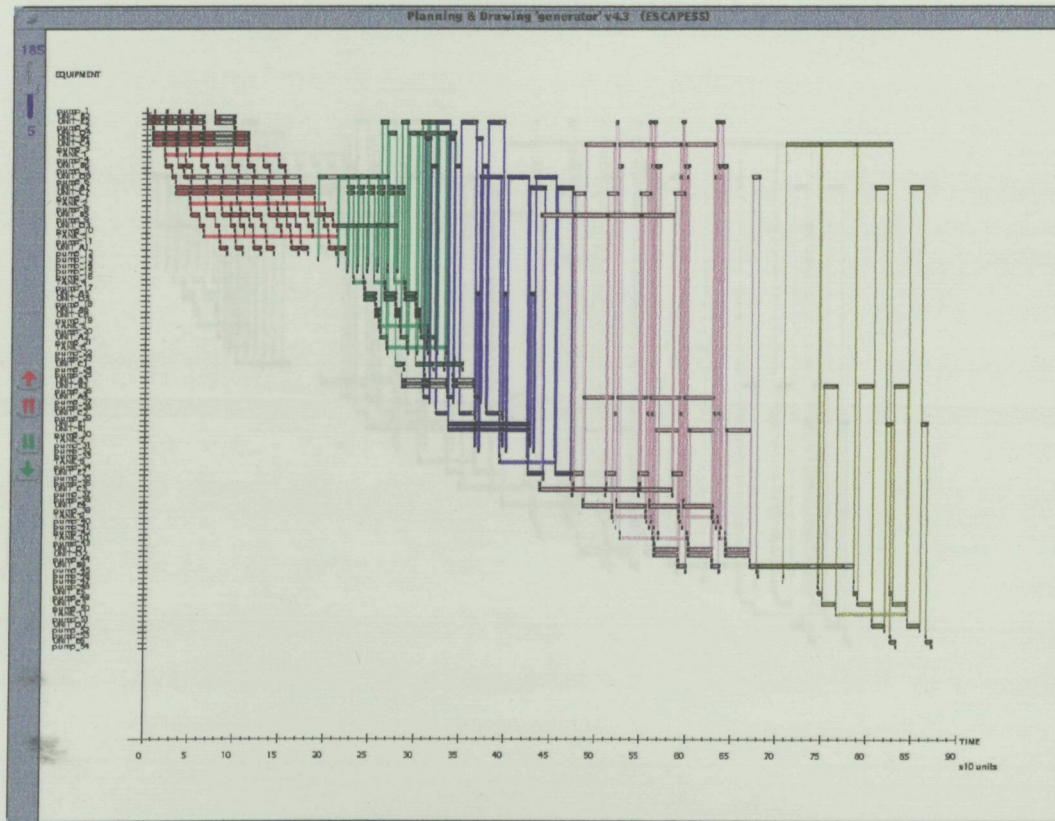


Fig. A19. Programa inicial per a 5 productes segons la regla LSL.

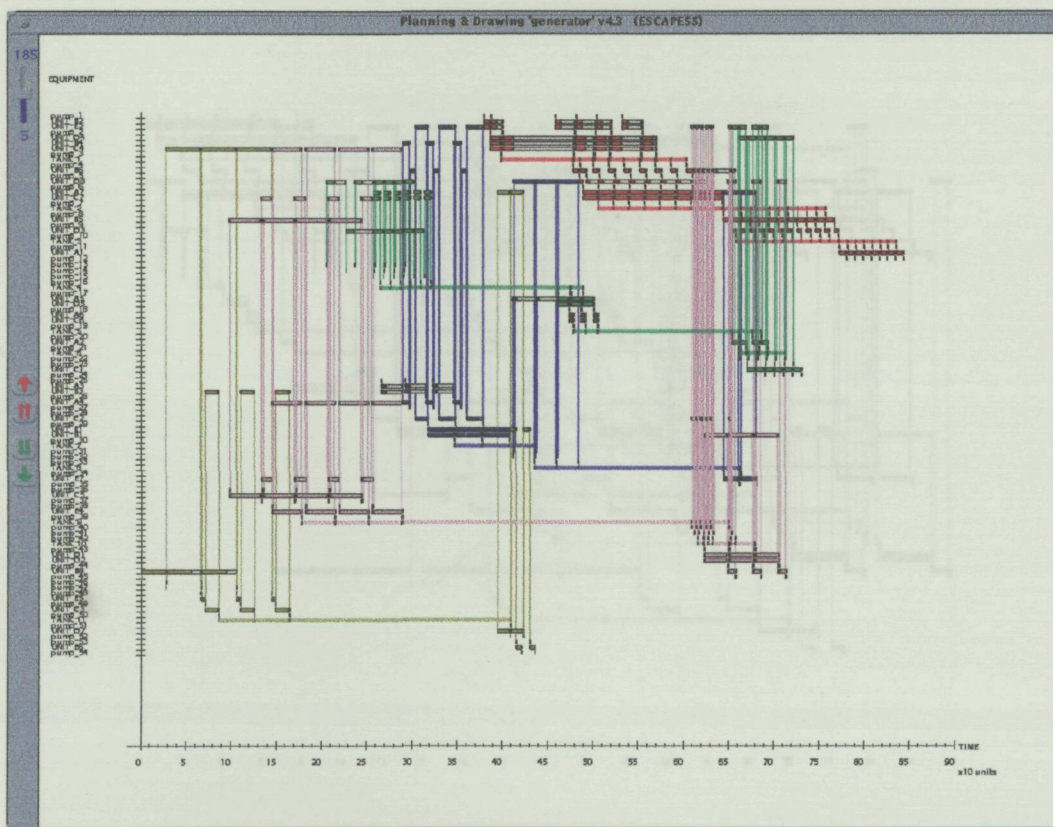


Fig. A20. Reordenació de la seqüència d'OFIs segons la regla SPT (*dispatching*).

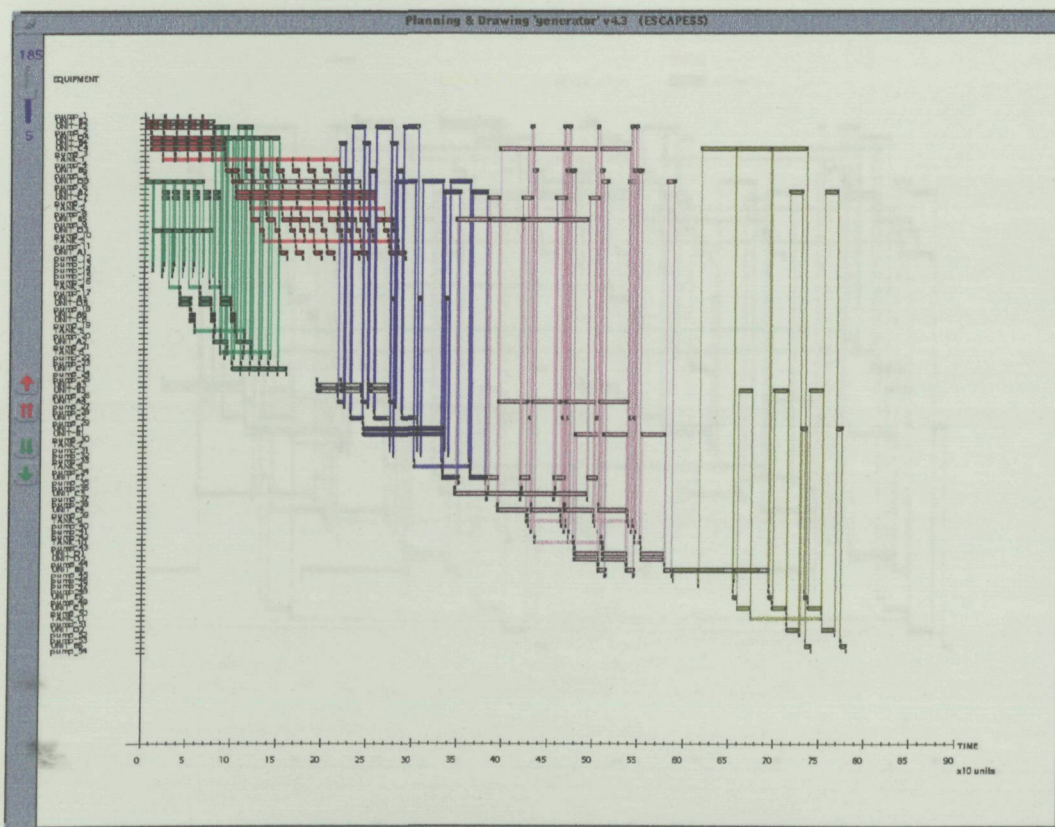


Fig. A21. Reordenació de la seqüència d'OFIs segons la regla LPT (*dispatching*).

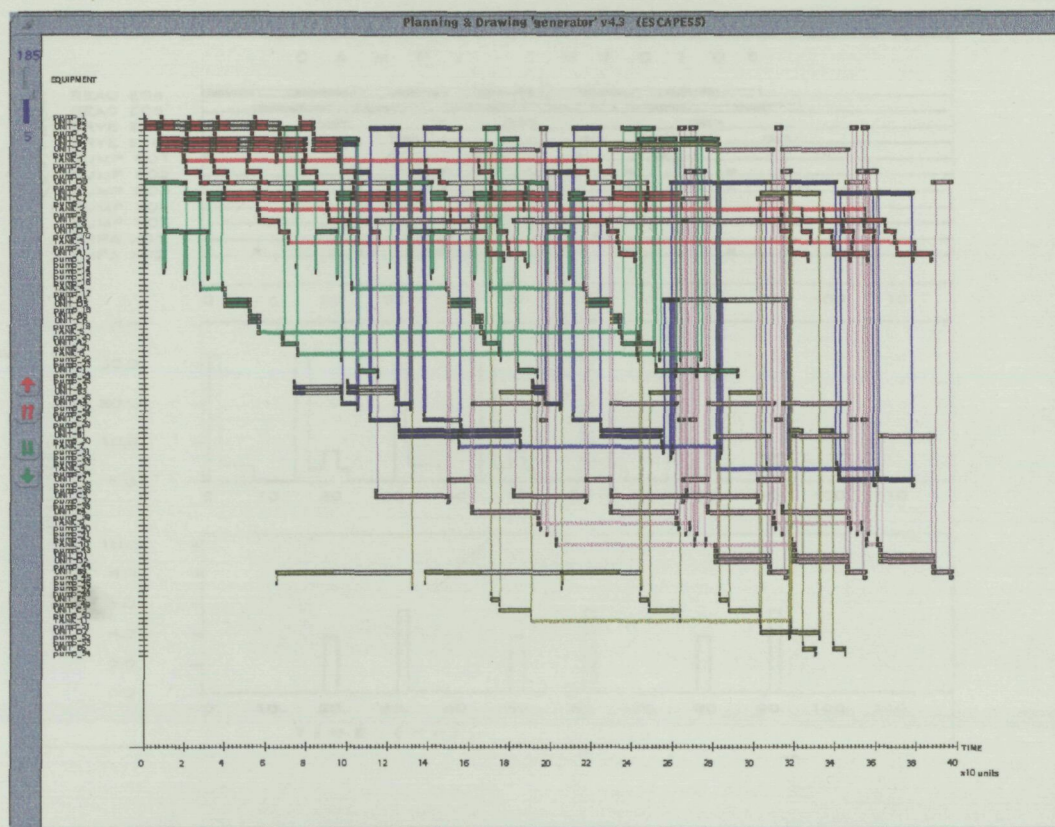


Fig. A22. Solució obtinguda amb el mètode de recuita simulada (SA).

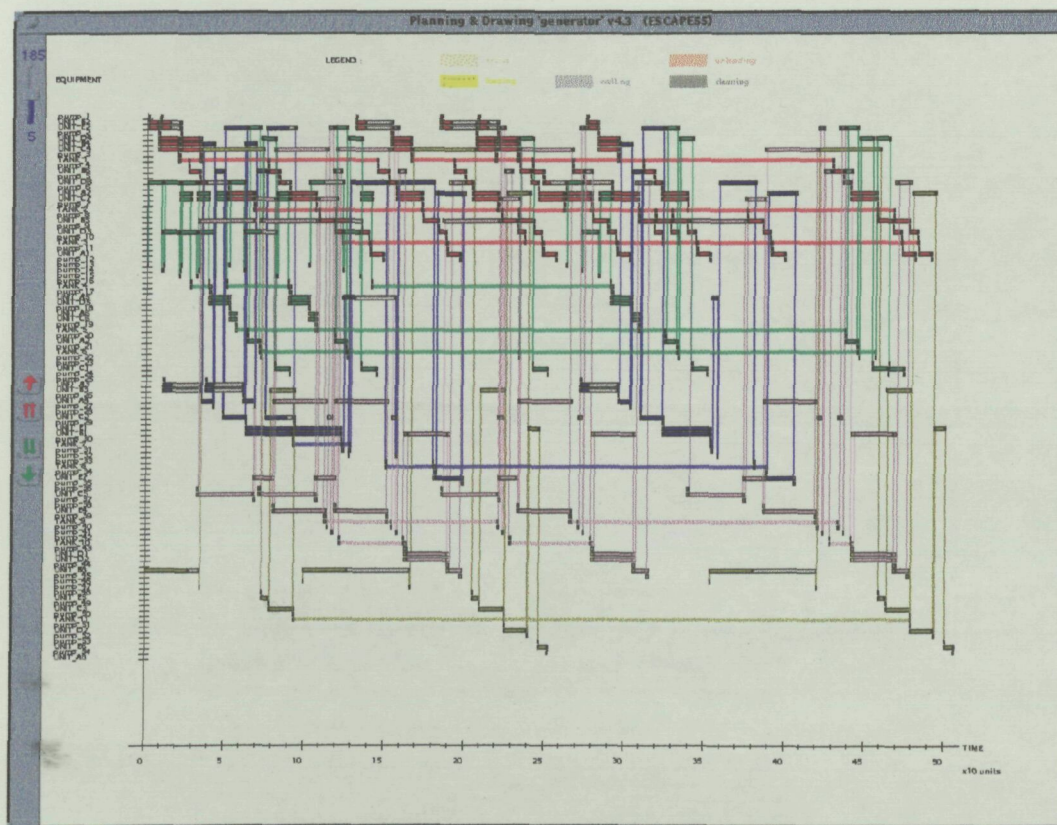


Fig. A23. Ajust de producció i demanda (*due-dates*) obtingut per recuita simulada (Cas 5).

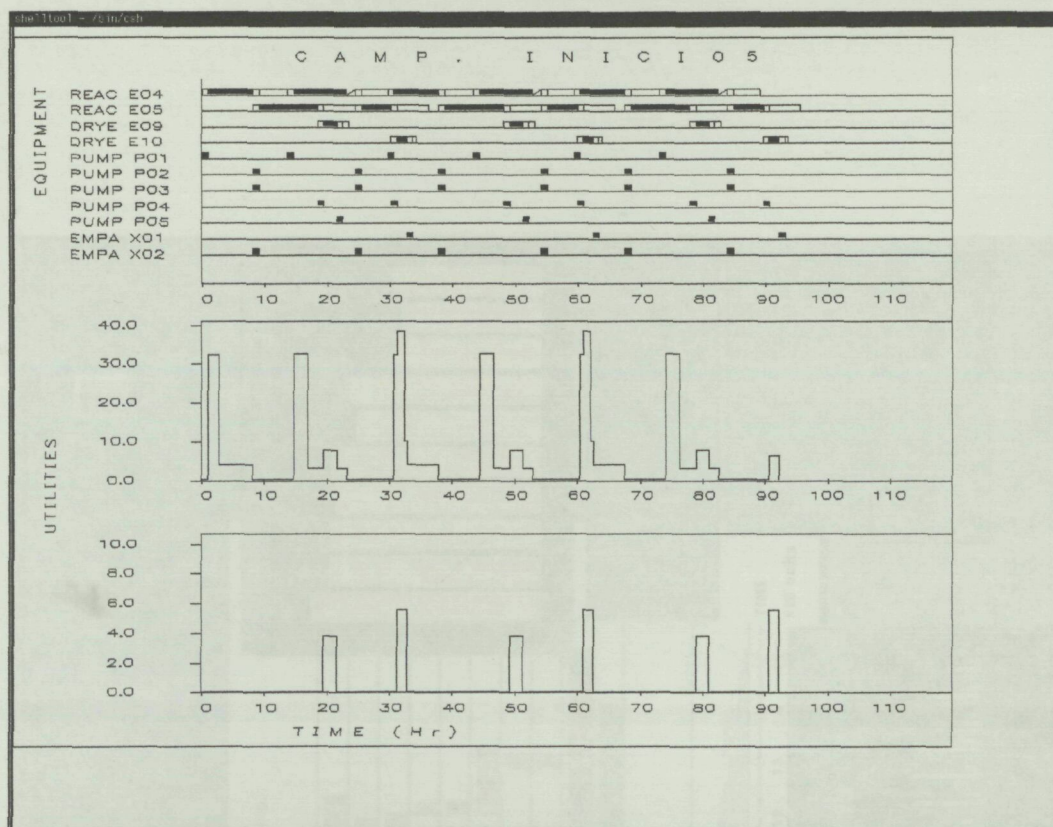


Fig. A24. Aspecte de l'aplicació informàtica l'any 1990.

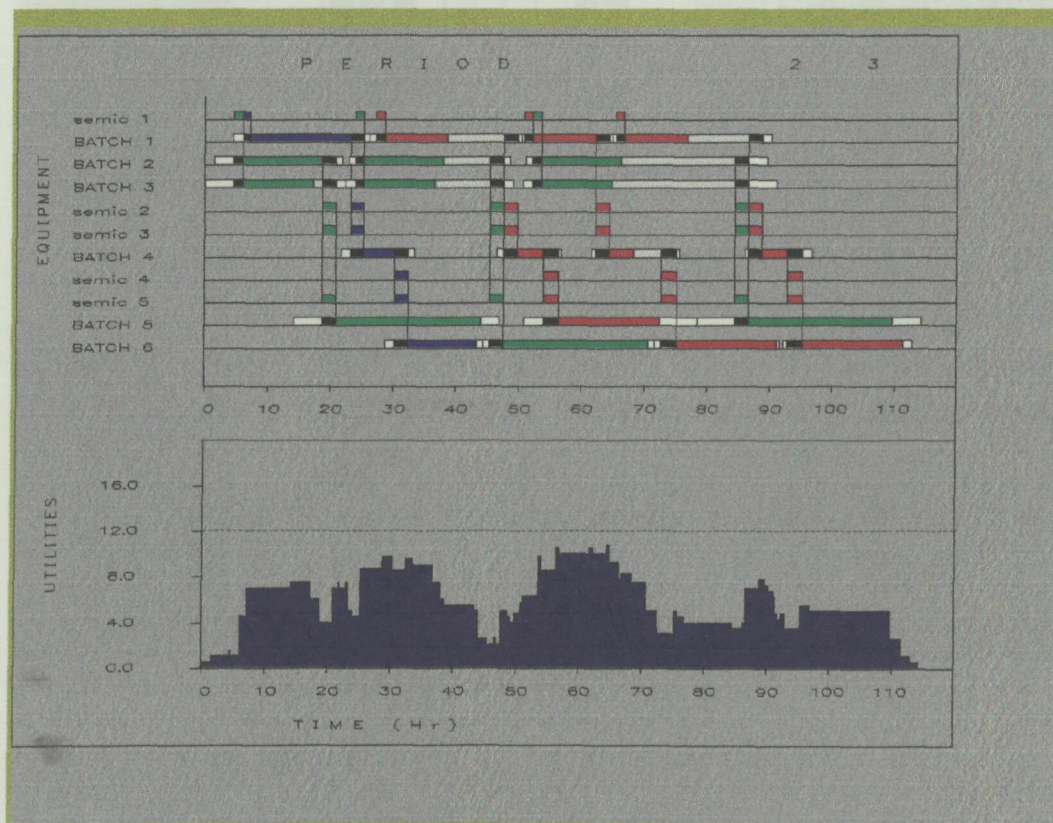
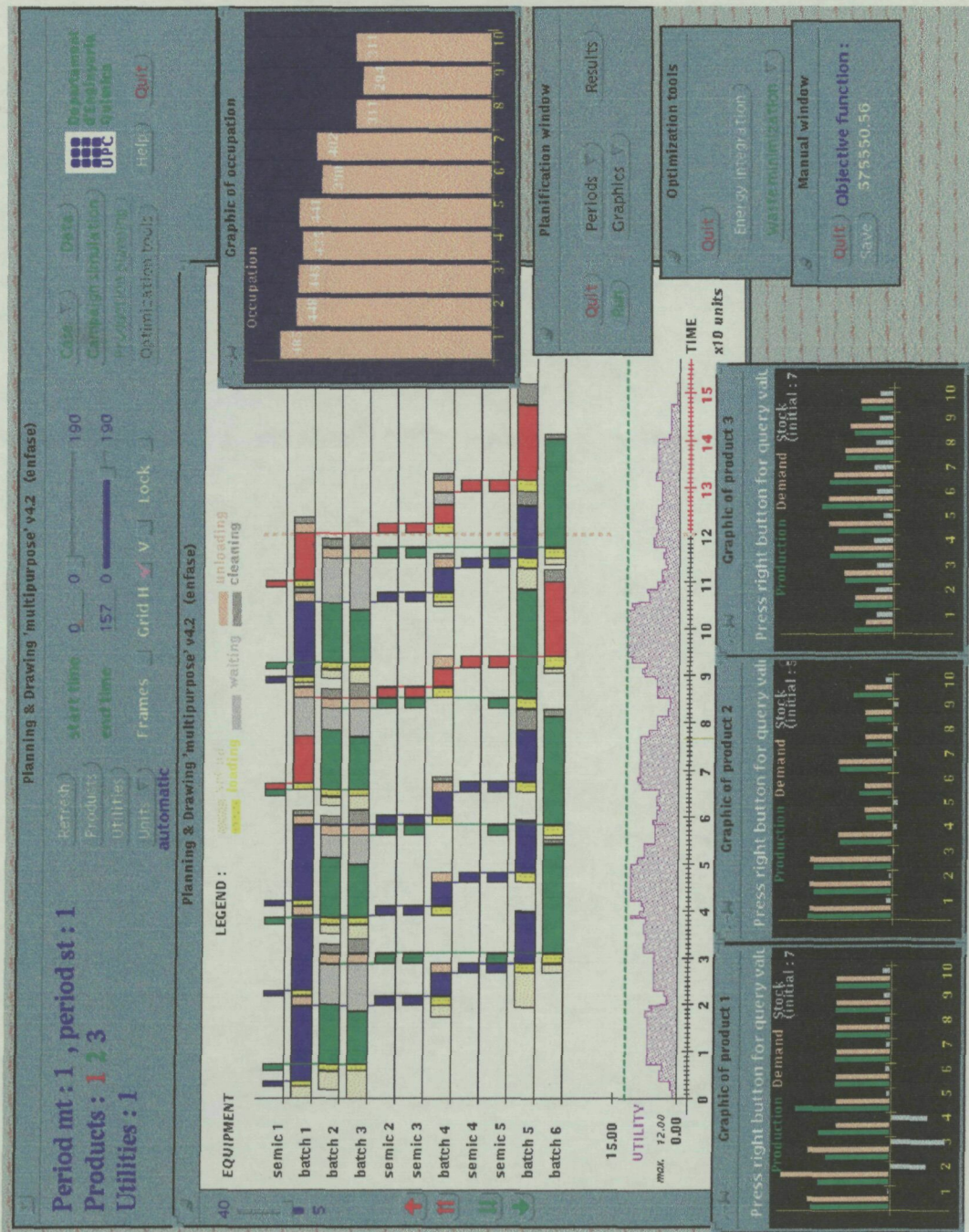


Fig. A25 Aspecte de l'aplicació informàtica l'any 1993.



Taula A26. Addició manual d'una OFP al pla de producció (1994).

8.2. Taules

Taula A1. Exemple ESCAPE_4: generació de les 36 rutes homogènies inicials.

Campanyes		A	B	C	Total	T	B/T
1	CS029	0.00	40.00	0.00	40.00	15.00	2.67
2	CS031	0.00	30.00	0.00	30.00	15.00	2.00
3	CS032	0.00	30.00	0.00	30.00	15.00	2.00
4	CS030	0.00	30.00	0.00	30.00	15.00	2.00
5	CS027	0.00	120.00	0.00	120.00	95.00	1.26
6	CS028	0.00	40.00	0.00	40.00	40.00	1.00
7	CS036	0.00	0.00	30.00	30.00	30.00	1.00
8	CS017	60.00	0.00	0.00	60.00	90.00	0.67
9	CS012	40.00	0.00	0.00	40.00	60.00	0.67
10	CS001	80.00	0.00	0.00	80.00	120.00	0.67
11	CS006	60.00	0.00	0.00	60.00	90.00	0.67
12	CS007	40.00	0.00	0.00	40.00	60.00	0.67
13	CS014	40.00	0.00	0.00	40.00	65.00	0.62
14	CS015	40.00	0.00	0.00	40.00	65.00	0.62
15	CS010	40.00	0.00	0.00	40.00	65.00	0.62
16	CS009	40.00	0.00	0.00	40.00	65.00	0.62
17	CS020	60.00	0.00	0.00	60.00	100.00	0.60
18	CS019	60.00	0.00	0.00	60.00	100.00	0.60
19	CS004	80.00	0.00	0.00	80.00	135.00	0.59
20	CS003	80.00	0.00	0.00	80.00	135.00	0.59
21	CS022	60.00	0.00	0.00	60.00	105.00	0.57
22	CS025	60.00	0.00	0.00	60.00	115.00	0.52
23	CS024	60.00	0.00	0.00	60.00	115.00	0.52
24	CS018	60.00	0.00	0.00	60.00	120.00	0.50
25	CS021	60.00	0.00	0.00	60.00	120.00	0.50
26	CS016	40.00	0.00	0.00	40.00	80.00	0.50
27	CS013	40.00	0.00	0.00	40.00	80.00	0.50
28	CS008	40.00	0.00	0.00	40.00	80.00	0.50
29	CS011	40.00	0.00	0.00	40.00	80.00	0.50
30	CS026	60.00	0.00	0.00	60.00	125.00	0.48
31	CS023	60.00	0.00	0.00	60.00	125.00	0.48
32	CS002	80.00	0.00	0.00	80.00	180.00	0.44
33	CS005	80.00	0.00	0.00	80.00	180.00	0.44
34	CS035	0.00	0.00	30.00	30.00	55.00	0.55
35	CS033	0.00	0.00	160.00	160.00	270.00	0.59
36	CS034	0.00	0.00	40.00	40.00	70.00	0.57

Taula A2. Rutes obtingudes després de la primera generació i la primera purga.

Rutes		A	B	C	Total	T	B/T
1	CS029	0.00	40.00	0.00	40.00	15.00	2.67
2	CS031	0.00	30.00	0.00	30.00	15.00	2.00
3	CS032	0.00	30.00	0.00	30.00	15.00	2.00
4	CS030	0.00	30.00	0.00	30.00	15.00	2.00
5	CS036	0.00	0.00	30.00	30.00	30.00	1.00
6	CS017	60.00	0.00	0.00	60.00	90.00	0.67
7	CS012	40.00	0.00	0.00	40.00	60.00	0.67
8	CS001	80.00	0.00	0.00	80.00	120.00	0.67
9	CS006	60.00	0.00	0.00	60.00	90.00	0.67
10	CS007	40.00	0.00	0.00	40.00	60.00	0.67
11	CS035	0.00	0.00	30.00	30.00	55.00	0.55
12	CS033	0.00	0.00	160.00	160.00	270.00	0.59

Taula A3. Primera generació de rutes heterogènies.

Rutes		A	B	C	Total	T	B/T
1	CS029	0.00	40.00	0.00	40.00	15.00	2.67
2	CS031	0.00	30.00	0.00	30.00	15.00	2.00
3	CS032	0.00	30.00	0.00	30.00	15.00	2.00
4	CM050	0.00	60.00	0.00	60.00	30.00	2.00
5	CM057	0.00	60.00	0.00	60.00	30.00	2.00
6	CM058	0.00	60.00	0.00	60.00	30.00	2.00
7	CS030	0.00	30.00	0.00	30.00	15.00	2.00
8	CM060	0.00	70.00	0.00	70.00	45.00	1.56
9	CM056	0.00	70.00	0.00	70.00	50.00	1.40
10	CS036	0.00	0.00	30.00	30.00	30.00	1.00
11	CS017	60.00	0.00	0.00	60.00	90.00	0.67
12	CS012	40.00	0.00	0.00	40.00	60.00	0.67
13	CS001	80.00	0.00	0.00	80.00	120.00	0.67
14	CS006	60.00	0.00	0.00	60.00	90.00	0.67
15	CS007	40.00	0.00	0.00	40.00	60.00	0.67
16	CM059	0.00	0.00	60.00	60.00	75.00	0.80
17	CS035	0.00	0.00	30.00	30.00	55.00	0.55
18	CS033	0.00	0.00	160.00	160.00	270.00	0.59
19	CM037	40.00	160.00	0.00	200.00	60.00	3.33
20	CM042	80.00	320.00	0.00	400.00	135.00	2.96
21	CM039	60.00	180.00	0.00	240.00	90.00	2.67
22	CM040	40.00	120.00	0.00	160.00	60.00	2.67
23	CM038	40.00	120.00	0.00	160.00	60.00	2.67
24	CM041	40.00	120.00	0.00	160.00	60.00	2.67
25	CM043	0.00	30.00	30.00	60.00	32.00	1.87
26	CM052	0.00	540.00	160.00	700.00	535.00	1.31
27	CM045	0.00	540.00	160.00	700.00	535.00	1.31
28	CM044	0.00	90.00	30.00	120.00	95.00	1.26
29	CM049	0.00	540.00	160.00	700.00	535.00	1.31
30	CM053	0.00	90.00	30.00	120.00	95.00	1.26
31	CM054	60.00	0.00	90.00	150.00	110.00	1.36
32	CM046	40.00	0.00	30.00	70.00	60.00	1.17
33	CM051	40.00	0.00	60.00	100.00	76.67	1.30
34	CM047	60.00	0.00	30.00	90.00	90.00	1.00
35	CM048	80.00	0.00	60.00	140.00	145.00	0.97
36	CM055	160.00	0.00	160.00	320.00	440.00	0.73

Taula A4. Millora de les rutes mitjançant recuita simulada (SA).

Campanyes		A	B	C	Total	T	B/T
1	CS029	0.00	40.00	0.00	40.00	15.00	2.67
2	CS031	0.00	30.00	0.00	30.00	15.00	2.00
3	CS032	0.00	30.00	0.00	30.00	15.00	2.00
4	CM050	0.00	60.00	0.00	60.00	30.00	2.00
5	CM057	0.00	60.00	0.00	60.00	30.00	2.00
6	CM058	0.00	60.00	0.00	60.00	30.00	2.00
7	CS030	0.00	30.00	0.00	30.00	15.00	2.00
8	CM060	0.00	70.00	0.00	70.00	45.00	1.56
9	CM056	0.00	70.00	0.00	70.00	50.00	1.40
10	CS036	0.00	0.00	30.00	30.00	30.00	1.00
11	CS017	60.00	0.00	0.00	60.00	90.00	0.67
12	CS012	40.00	0.00	0.00	40.00	60.00	0.67
13	CS001	80.00	0.00	0.00	80.00	120.00	0.67
14	CS006	60.00	0.00	0.00	60.00	90.00	0.67
15	CS007	40.00	0.00	0.00	40.00	60.00	0.67
16	CM059	0.00	0.00	60.00	60.00	75.00	0.80
17	CS035	0.00	0.00	30.00	30.00	55.00	0.55
18	CS033	0.00	0.00	160.00	160.00	270.00	0.59
19	CM037	40.00	160.00	0.00	200.00	60.00	3.33
20	CM042	80.00	320.00	0.00	400.00	135.00	2.96
21	CM039	60.00	180.00	0.00	240.00	90.00	2.67
22	CM040	40.00	120.00	0.00	160.00	60.00	2.67
23	CM038	40.00	120.00	0.00	160.00	60.00	2.67
24	CM041	40.00	120.00	0.00	160.00	60.00	2.67
25	CM043	0.00	30.00	30.00	60.00	30.00	2.00
26	CM052	0.00	540.00	160.00	700.00	430.00	1.63
27	CM045	0.00	540.00	160.00	700.00	435.00	1.61
28	CM049	0.00	540.00	160.00	700.00	430.00	1.63
29	CM053	0.00	90.00	30.00	120.00	75.00	1.60
30	CM044	0.00	90.00	30.00	120.00	80.00	1.50
31	CM051	40.00	0.00	60.00	100.00	65.00	1.54
32	CM054	60.00	0.00	90.00	150.00	100.00	1.50
33	CM055	160.00	0.00	160.00	320.00	255.00	1.25
34	CM046	40.00	0.00	30.00	70.00	65.00	1.08
35	CM047	60.00	0.00	30.00	90.00	90.00	1.00
36	CM048	80.00	0.00	60.00	140.00	140.00	1.00

Taula A5. Purga del conjunt de rutes millorades de la segona generació.

Campanyes		A	B	C	Total	T	B/T
1	CS029	0.00	40.00	0.00	40.00	15.00	2.67
2	CS036	0.00	0.00	30.00	30.00	30.00	1.00
3	CS017	60.00	0.00	0.00	60.00	90.00	0.67
4	CS012	40.00	0.00	0.00	40.00	60.00	0.67
5	CS001	80.00	0.00	0.00	80.00	120.00	0.67
6	CS006	60.00	0.00	0.00	60.00	90.00	0.67
7	CS007	40.00	0.00	0.00	40.00	60.00	0.67
8	CM059	0.00	0.00	60.00	60.00	75.00	0.80
9	CM037	40.00	160.00	0.00	200.00	60.00	3.33
10	CM042	80.00	320.00	0.00	400.00	135.00	2.96
11	CM043	0.00	30.00	30.00	60.00	30.00	2.00
12	CM052	0.00	540.00	160.00	700.00	430.00	1.63
13	CM045	0.00	540.00	160.00	700.00	435.00	1.61
14	CM049	0.00	540.00	160.00	700.00	430.00	1.63
15	CM053	0.00	90.00	30.00	120.00	75.00	1.60
16	CM051	40.00	0.00	60.00	100.00	65.00	1.54
17	CM054	60.00	0.00	90.00	150.00	100.00	1.50
18	CM055	160.00	0.00	160.00	320.00	255.00	1.25

Taula A6. Resultats de la generació de rutes homogènies en considerar les subtasques de transferència, preparació i neteja.

Campanyes		A	B	C	Total	T	B/T
1	CS029	0.00	40.00	0.00	40.00	20.67	1.94
2	CS031	0.00	30.00	0.00	30.00	20.00	1.50
3	CS032	0.00	30.00	0.00	30.00	20.00	1.50
4	CS030	0.00	30.00	0.00	30.00	20.00	1.50
5	CS027	0.00	120.00	0.00	120.00	126.00	0.95
6	CS028	0.00	40.00	0.00	40.00	52.00	0.77
7	CS036	0.00	0.00	30.00	30.00	34.00	0.88
8	CS007	40.00	0.00	0.00	40.00	78.00	0.51
9	CS012	40.00	0.00	0.00	40.00	78.00	0.51
10	CS009	40.00	0.00	0.00	40.00	83.50	0.48
11	CS010	40.00	0.00	0.00	40.00	83.50	0.48
12	CS015	40.00	0.00	0.00	40.00	83.50	0.48
13	CS014	40.00	0.00	0.00	40.00	83.50	0.48
14	CS035	0.00	0.00	30.00	30.00	65.00	0.46
15	CS017	60.00	0.00	0.00	60.00	115.67	0.52
16	CS006	60.00	0.00	0.00	60.00	118.33	0.51
17	CS022	60.00	0.00	0.00	60.00	120.33	0.50
18	CS020	60.00	0.00	0.00	60.00	126.67	0.47
19	CS019	60.00	0.00	0.00	60.00	126.67	0.47
20	CS034	0.00	0.00	40.00	40.00	86.00	0.47
21	CS011	40.00	0.00	0.00	40.00	100.00	0.40
22	CS008	40.00	0.00	0.00	40.00	100.00	0.40
23	CS016	40.00	0.00	0.00	40.00	100.00	0.40
24	CS013	40.00	0.00	0.00	40.00	100.00	0.40
25	CS001	80.00	0.00	0.00	80.00	158.67	0.50
26	CS025	60.00	0.00	0.00	60.00	142.33	0.42
27	CS024	60.00	0.00	0.00	60.00	142.33	0.42
28	CS021	60.00	0.00	0.00	60.00	148.67	0.40
29	CS018	60.00	0.00	0.00	60.00	148.67	0.40
30	CS003	80.00	0.00	0.00	80.00	175.17	0.46
31	CS004	80.00	0.00	0.00	80.00	175.17	0.46
32	CS026	60.00	0.00	0.00	60.00	153.33	0.39
33	CS023	60.00	0.00	0.00	60.00	153.33	0.39
34	CS033	0.00	0.00	160.00	160.00	334.00	0.48
35	CS005	80.00	0.00	0.00	80.00	224.67	0.36
36	CS002	80.00	0.00	0.00	80.00	224.67	0.36

Taula A7. Exemple ESCAPE_5: generació de les 90 rutes homogènies inicials.

225

Taula A8. Primera generació de rutes heterogènies.

RUTA	A	B	C	D	E	TOTAL	T	B / T
CM091	0.00	8400.00	0.00	0.00	2400.00	10800.00	117.60	91.84
CM092	0.00	8400.00	0.00	0.00	2400.00	10800.00	117.60	91.84
CM093	0.00	8400.00	0.00	0.00	2400.00	10800.00	117.60	91.84
CM094	0.00	8400.00	0.00	0.00	2400.00	10800.00	117.60	91.84
CM095	0.00	8400.00	0.00	0.00	2400.00	10800.00	263.30	41.02
CM096	0.00	8400.00	0.00	0.00	2400.00	10800.00	263.30	41.02
CM097	0.00	2800.00	0.00	10800.00	0.00	13600.00	285.97	47.56
CM098	0.00	2800.00	0.00	10800.00	0.00	13600.00	183.02	74.31
CM099	0.00	2800.00	0.00	10800.00	0.00	13600.00	246.35	55.21
CM100	2800.00	2800.00	0.00	10800.00	0.00	13600.00	147.60	92.14
CM101	2800.00	2800.00	0.00	10800.00	0.00	13600.00	246.35	55.21
CM102	2800.00	2800.00	0.00	10800.00	0.00	13600.00	147.60	92.14
CM103	0.00	0.00	5400.00	0.00	2400.00	7800.00	228.60	34.12
CM104	0.00	0.00	5400.00	0.00	2400.00	7800.00	203.10	38.40
CM105	0.00	0.00	5400.00	0.00	2400.00	7800.00	228.60	34.12
CM106	0.00	0.00	5400.00	0.00	2400.00	7800.00	203.10	38.40
CM107	0.00	0.00	5400.00	0.00	2400.00	7800.00	228.60	34.12
CM108	0.00	0.00	5400.00	0.00	2400.00	7800.00	117.60	66.33
CM109	0.00	0.00	5400.00	10800.00	0.00	16200.00	328.55	49.31
CM110	0.00	0.00	5400.00	10800.00	0.00	16200.00	328.55	49.31
CM111	0.00	0.00	5400.00	10800.00	0.00	16200.00	328.55	49.31
CM112	0.00	0.00	5400.00	10800.00	0.00	16200.00	328.55	49.31
CM113	0.00	0.00	5400.00	10800.00	0.00	16200.00	328.55	49.31
CM114	0.00	0.00	5400.00	10800.00	0.00	16200.00	336.25	48.18
CM115	0.00	0.00	0.00	10800.00	1500.00	12300.00	147.60	83.33
CM116	0.00	0.00	0.00	10800.00	2400.00	13200.00	147.60	89.43
CM117	0.00	0.00	0.00	10800.00	1500.00	12300.00	147.60	83.33
CM118	0.00	0.00	0.00	10800.00	2400.00	13200.00	147.60	89.43
CM119	0.00	0.00	0.00	10800.00	1500.00	12300.00	147.60	83.33
CM120	0.00	0.00	0.00	10800.00	2400.00	13200.00	147.60	89.43
CM121	0.00	0.00	0.00	0.00	1500.00	6700.00	78.30	85.57
CM122	0.00	0.00	0.00	0.00	1500.00	6700.00	78.30	85.57
CM123	0.00	0.00	0.00	0.00	1500.00	6700.00	78.30	85.57
CM124	0.00	0.00	0.00	0.00	1500.00	6700.00	78.30	85.57
CM125	0.00	0.00	0.00	0.00	1500.00	6700.00	105.70	63.39
CM126	0.00	0.00	0.00	0.00	1500.00	6700.00	105.70	63.39
CM127	0.00	0.00	0.00	0.00	3000.00	3000.00	87.80	34.17
CM128	0.00	0.00	0.00	0.00	3000.00	3000.00	87.80	34.17
CM129	0.00	0.00	0.00	0.00	3000.00	3000.00	87.80	34.17
CM130	0.00	0.00	0.00	0.00	3000.00	3000.00	87.80	34.17
CM131	0.00	0.00	0.00	0.00	3000.00	3000.00	87.80	34.17
CM132	0.00	0.00	0.00	0.00	3000.00	3000.00	87.80	34.17
CM133	0.00	0.00	5400.00	0.00	0.00	10600.00	163.88	64.68
CM134	0.00	0.00	5400.00	0.00	0.00	10600.00	163.88	64.68
CM135	0.00	0.00	5400.00	0.00	0.00	10600.00	163.88	64.68
CM136	0.00	0.00	5400.00	0.00	0.00	10600.00	163.88	64.68
CM137	0.00	0.00	5400.00	0.00	0.00	10600.00	163.88	64.68
CM138	0.00	0.00	5400.00	0.00	0.00	10600.00	163.88	64.68
CM139	2800.00	2800.00	5400.00	0.00	0.00	8200.00	90.90	90.21
CM140	2800.00	2800.00	5400.00	0.00	0.00	8200.00	90.90	90.21
CM141	2800.00	2800.00	5400.00	0.00	0.00	8200.00	90.90	90.21
CM142	2800.00	2800.00	5400.00	0.00	0.00	8200.00	90.90	90.21
CM143	2800.00	2800.00	5400.00	0.00	0.00	8200.00	90.90	90.21
CM144	2800.00	2800.00	5400.00	0.00	0.00	8200.00	90.90	90.21
CM145	2800.00	2800.00	0.00	0.00	0.00	5600.00	155.27	36.07
CM146	2800.00	2800.00	0.00	0.00	0.00	5600.00	155.27	36.07
CM147	0.00	0.00	10200.00	0.00	0.00	10200.00	150.90	67.59
CM148	0.00	0.00	10200.00	0.00	0.00	10200.00	150.90	67.59
CM149	0.00	0.00	10200.00	0.00	0.00	10200.00	150.90	67.59
CM150	0.00	0.00	10200.00	0.00	0.00	10200.00	150.90	67.59
CM151	0.00	0.00	10200.00	0.00	0.00	10200.00	150.90	67.59
CM152	0.00	0.00	10200.00	0.00	0.00	10200.00	150.90	67.59
CM153	2800.00	2800.00	0.00	0.00	0.00	5600.00	155.27	36.07
CM154	2800.00	2800.00	0.00	0.00	0.00	5600.00	155.27	36.07
CM155	2800.00	2800.00	0.00	0.00	0.00	8000.00	183.35	43.63
CM156	2800.00	2800.00	0.00	0.00	0.00	8000.00	183.35	43.63

Taula A9. Millora de les rutes heterogènies mitjançant recuita simulada (SA).

RUTA	A	B	C	D	E	TOTAL	T	B / T
CM091	0.00	8400.00	0.00	0.00	2400.00	10800.00	117.60	91.84
CM092	0.00	8400.00	0.00	0.00	2400.00	10800.00	117.60	91.84
CM093	0.00	8400.00	0.00	0.00	2400.00	10800.00	117.60	91.84
CM094	0.00	8400.00	0.00	0.00	2400.00	10800.00	117.60	91.84
CM095	0.00	8400.00	0.00	0.00	2400.00	10800.00	263.30	41.02
CM096	0.00	8400.00	0.00	0.00	2400.00	10800.00	263.30	41.02
CM097	0.00	2800.00	0.00	10800.00	0.00	13600.00	235.15	57.84
CM098	0.00	2800.00	0.00	10800.00	0.00	13600.00	163.80	83.03
CM099	0.00	2800.00	0.00	10800.00	0.00	13600.00	246.35	55.21
CM100	0.00	2800.00	0.00	10800.00	0.00	13600.00	147.60	92.14
CM101	0.00	2800.00	0.00	10800.00	0.00	13600.00	246.35	55.21
CM102	0.00	2800.00	0.00	10800.00	0.00	13600.00	147.60	92.14
CM103	0.00	0.00	5400.00	0.00	2400.00	7800.00	208.10	37.48
CM104	0.00	0.00	5400.00	0.00	2400.00	7800.00	160.70	48.54
CM105	0.00	0.00	5400.00	0.00	2400.00	7800.00	208.10	37.48
CM106	0.00	0.00	5400.00	0.00	2400.00	7800.00	160.70	48.54
CM107	0.00	0.00	5400.00	0.00	2400.00	7800.00	157.73	49.45
CM108	0.00	0.00	5400.00	0.00	2400.00	7800.00	117.36	66.46
CM109	0.00	0.00	5400.00	10800.00	0.00	16200.00	179.43	90.28
CM110	0.00	0.00	5400.00	10800.00	0.00	16200.00	190.70	84.95
CM111	0.00	0.00	5400.00	10800.00	0.00	16200.00	190.70	84.95
CM112	0.00	0.00	5400.00	10800.00	0.00	16200.00	190.70	84.95
CM113	0.00	0.00	5400.00	10800.00	0.00	16200.00	190.70	84.95
CM114	0.00	0.00	5400.00	10800.00	0.00	16200.00	186.07	87.07
CM115	0.00	0.00	0.00	10800.00	1500.00	12300.00	147.60	83.33
CM116	0.00	0.00	0.00	10800.00	2400.00	13200.00	147.60	89.43
CM117	0.00	0.00	0.00	10800.00	1500.00	12300.00	147.60	83.33
CM118	0.00	0.00	0.00	10800.00	2400.00	13200.00	147.60	89.43
CM119	0.00	0.00	0.00	10800.00	1500.00	12300.00	147.60	83.33
CM120	0.00	0.00	0.00	10800.00	2400.00	13200.00	147.60	89.43
CM121	5200.00	0.00	0.00	0.00	1500.00	6700.00	78.30	85.57
CM122	5200.00	0.00	0.00	0.00	1500.00	6700.00	78.30	85.57
CM123	5200.00	0.00	0.00	0.00	1500.00	6700.00	78.30	85.57
CM124	5200.00	0.00	0.00	0.00	1500.00	6700.00	78.30	85.57
CM125	5200.00	0.00	0.00	0.00	1500.00	6700.00	105.70	63.39
CM126	5200.00	0.00	0.00	0.00	1500.00	6700.00	105.70	63.39
CM127	0.00	0.00	0.00	0.00	3000.00	3000.00	87.80	34.17
CM128	0.00	0.00	0.00	0.00	3000.00	3000.00	78.30	38.31
CM129	0.00	0.00	0.00	0.00	3000.00	3000.00	78.30	38.31
CM130	0.00	0.00	0.00	0.00	3000.00	3000.00	78.30	38.31
CM131	0.00	0.00	0.00	0.00	3000.00	3000.00	78.30	38.31
CM132	0.00	0.00	0.00	0.00	3000.00	3000.00	78.30	38.31
CM133	5200.00	0.00	5400.00	0.00	0.00	10600.00	141.42	74.96
CM134	5200.00	0.00	5400.00	0.00	0.00	10600.00	111.12	95.40
CM135	5200.00	0.00	5400.00	0.00	0.00	10600.00	111.12	95.40
CM136	5200.00	0.00	5400.00	0.00	0.00	10600.00	111.12	95.40
CM137	5200.00	0.00	5400.00	0.00	0.00	10600.00	111.12	95.40
CM138	5200.00	0.00	5400.00	0.00	0.00	10600.00	141.42	74.96
CM139	0.00	2800.00	5400.00	0.00	0.00	8200.00	90.90	90.21
CM140	0.00	2800.00	5400.00	0.00	0.00	8200.00	90.90	90.21
CM141	0.00	2800.00	5400.00	0.00	0.00	8200.00	90.90	90.21
CM142	0.00	2800.00	5400.00	0.00	0.00	8200.00	90.90	90.21
CM143	0.00	2800.00	5400.00	0.00	0.00	8200.00	90.90	90.21
CM144	0.00	2800.00	5400.00	0.00	0.00	8200.00	90.90	90.21
CM145	2800.00	2800.00	0.00	0.00	0.00	5600.00	84.70	66.12
CM146	2800.00	2800.00	0.00	0.00	0.00	5600.00	78.60	71.25
CM147	0.00	0.00	10200.00	0.00	0.00	10200.00	100.10	101.90
CM148	0.00	0.00	10200.00	0.00	0.00	10200.00	100.10	101.90
CM149	0.00	0.00	10200.00	0.00	0.00	10200.00	100.10	101.90
CM150	0.00	0.00	10200.00	0.00	0.00	10200.00	100.10	101.90
CM151	0.00	0.00	10200.00	0.00	0.00	10200.00	100.10	101.90
CM152	0.00	0.00	10200.00	0.00	0.00	10200.00	100.10	101.90
CM153	2800.00	2800.00	0.00	0.00	0.00	5600.00	78.60	71.25
CM154	2800.00	2800.00	0.00	0.00	0.00	5600.00	105.57	53.05
CM155	5200.00	2800.00	0.00	0.00	0.00	8000.00	106.55	75.08
CM156	5200.00	2800.00	0.00	0.00	0.00	8000.00	106.55	75.08

8.3 Nomenclatura

Índexs

$i = 1, \dots, I$	Producte
ij	Tasca (polimerització, filtració...)
$j = 1, \dots, J_i$	Número de la tasca d'una recepta
$k = 1, \dots, K_m$	k-èssima utilització d'un equip
km	k-èssima utilització de l'equip m: esdeveniment
$m = 1, \dots, M$	Equip
$n = 1, \dots, N$	Número identificador d'OFP o OFI
p	Ruta / Període a mig termini
q	Mini-ruta / Període a curt termini
$s = 1, \dots, S=5$	Número de la subtasca en les quals es divideix una tasca
$u = 1, \dots, U$	Servei general
$v = 1, \dots, V_{ij su}$	v-èssim comsun de servei u durant la subtasca ijs.
z	Número identificador de la zona d'una recepta

Paràmetres

$C_j^{eq.}$	Cost horari d'utilització de l'equip assignat a la tasca j (multiproducte)
$C_u^{ut.}$	Cost horari d'utilització del servei u
MU_j^{lim}	Número límit d'equips operant en fase per a la tasca j del producte i.
TW_{ijm}^{max}	Temps d'espera màxim per a l'intermedi ij un cop processat a l'equip m
a_{ijms}	Paràmetre per a l'avaluació de la durada d'una subtasca: $t = a + b B^c$

$a^{w_{ijmsuv}}$	Paràmetre per a l'avaluació d'un consum: $w = a + b B^C$
b_{ijms}	Paràmetre per a l'avaluació de la durada d'una subtasca: $t = a + b B^C$
$b^{w_{ijmsuv}}$	Paràmetre per a l'avaluació d'un consum: $w = a + b B^C$
CE	Cost dels equips utilitzats en la producció
c_{ijms}	Paràmetre per a l'avaluació de la durada d'una subtasca: $t = a + b B^C$
CN _j	Capacitat nominal del grup d'equips assignat a una tasca j.
CN _j *	Capacitat nominal del grup d'equips assignat a una tasca j llevat el de menor capacitat.
CT	Cost del temps invertit en la producció
CU	Cost dels serveis consumits en la producció
$c^{w_{ijmsuv}}$	Paràmetre per a l'avaluació d'un consum: $w = a + b B^C$
D _i	Demanda de producte i
D _i	Número de dipòsits considerats a la recepta del producte i.
D _{ijm}	Capacitat de procés d'un equip semicontinu
δt_{ijsuv}	Temps final del consum w_{jnsuv} referit l'inici de la subtasca.
DT _{ip}	Demanda total acumulada de producte i en acabar el període p
δt^o_{ijsuv}	Temps d'inici del consum w_{jnsuv} referit l'inici de la subtasca.
F_{ij}	Conjunt de tasques semicontínues entre dues de discontinúes.
G	Benefici brut obtingut amb la producció
γ_{ijsuv}	Discriminant de les dimensions de w_{jnsuv} (potència o energia).
H	Horitzó de temps
η_{km}	Factor d'utilització de la capacitat nominal per a l'esdeveniment km
LMR _{iz}	Número límit de minirutes que es poden generar a la zona z del producte i.
LMR ^o	Número límit total de minirutes que es poden generar.
MB _{izq} ^{max}	Dimensió de minilot teòrica màxima per a la zona iz segons la ruta q
μ_{ij}	Número d'equips alternatius possibles per executar la tasca j del producte i.
μ_j	Número d'equips alternatius possibles per executar la tasca j.
MR _i	Número teòric de rutes possibles per al producte i.
MR _{iz}	Número teòric de minirutes possibles per a la zona z del producte i.

MU_j	Número límit d'equips operant en fase per a la tasca j del producte i.
NG_{ij}	Número de grups d'equips en fase possibles per a la tasca j del producte i.
pc_{it}	Penalització del temps de netja pel canvi de producte i a producte t
$pc_{ij\iota\phi m}$	Penalització del temps de neteja per canvi de producte/tasca
pp_{it}	Penalització del temps de preparació pel canvi de producte i a producte t
$pp_{\iota\phi ij m}$	Penalització del temps de preparació per canvi de producte/tasca
PVP_i	Preu o benefici derivat del producte i
Q_i	Quantitat fabricada de producte i
Q_{iz}	Quantitat fabricada de l'intermedi iz
QT_{ip}	Demanda total acumulada de producte i en acabar el període p
R_m	Velocitat de transferència d'un equip semicontinu.
S_{ijm}	Factor de capacitat per a un equip discontinu
V_m	Volum d'un equip discontinu
ω_{jnsuv}	Valor de w_{jnsuv} en cas de dimensió de lot constant.
W_u^{max}	Potència màxima disponible del servei u.
x_{ijm}	Possibilitat (0,1) d'efectuar la tasca j del producte i en l'equip m.
Z_i	Número de zones de la recepta del producte i.
z_{ij}	Discriminant de tasques semicontínues i discontinues per productes.
z_j o z_m	Discriminant de tasques o equips semicontinus i discontinus

Variables

B_n	Dimensió del lot n.
χ_{ijmqz}	Variable d'assignació d'equip tasca i producte per una miniruta q
Γ_{jnsuv}	Factor de correcció de W_{jnsuv} segons es tracti de potència o energia.
MB_{inz}	Dimensió de minilot assignada a l'n-èssima OFI
MP_q	Conjunt ordenat de productes/zones/dimensió màxima de minilot assignat a la miniruta q.
N	Número de lots fabricats.

Nomenclatura

NM_{iz}	Número d'ordres de fabricació (OFI) de l'intermedi iz
P_{jnsuv}	Penalització del consum $jnsuv$ en funció de la seqüència.
P_p	Conjunt ordenat de minirutes/factors de correcció que defineixen la ruta p .
TF_{km}	Temps de finalització d'un esdeveniment km
TF_{kmsuv}^w	Temps de finalització del consum $kmsuv$
TI_{km}	Temps d'inici d'un esdeveniment km
TI_{kmsuv}^w	Temps d'inici del consum $kmsuv$
t_{kms}	Duració de la subtasca s en l'esdeveniment km .
TW_{km}	Temps d'espera d'un esdeveniment km
w_{jnsuv}	Potència emprada en el consum $jnsuv$.
X_{ijkmn}	Variable binària d'assignació de producte, tasca i lot a un esdeveniment km
ξ_{pq}	Factor de correcció aplicat a la miniruta q quan forma part de la ruta p .
ξ_q	Factor de correcció de la dimensió de minilot aplicat a la miniruta q .
Y_{in}	Variable binària d'assignació de producte a una OFP
Y_{qn}	Variable binària d'assignació d'una miniruta a una OFI

Funcions

$L_{iz}(t)$	Nivell d'estoc de l'intermedi iz en funció del temps
L_{inz}	Nivell del dipòsit on acaba la zona z del producte i en completar-se l'ordre n .
$W_{jnsuv}(t)$	Contribució del consum $jnsuv$ a la demanda de servei u .
$W_u(t)$	Perfil de demanda del servei u .
$\theta(t) = \begin{cases} 0 & t \leq 0 \\ 1 & t > 0 \end{cases}$	Funció graó de Heavyside

Acrònims

B&B	Ramificació i acotació (<i>Branch and Bound</i>)
BCPI	Indústries de procés químic discontinu (<i>Batch Chemical Process Industries</i>)

CPI	Indústries de procés químic (<i>Chemical Process Industries</i>)
FIS	Emmagatzemament finit (<i>Finite Intermediate Storage</i>)
FW	Espera finita (<i>Finite Wait</i>)
GA	Algoritmes genètics (<i>Genetic Algorithm</i>)
IS	Emmagatzemament (<i>Intermediate Storage</i>)
LCT	Temps de cicle limitant (<i>Limiting cycle time</i>)
LP	Programació linial (<i>Linear Programming</i>)
LPT	Major temps de procés (<i>Largest Processing Time</i>)
LSL	Mínim nivell d'estoc (<i>Lowest Storage Level</i>)
MCD	Màxim comú divisor
mcm	Mínim comú múltiple
MILP	Programació mixta linial (<i>Mixed Integer Linear Programming</i>)
MINLP	Programació mixta no linial (<i>Mixed Integer Linear Programming</i>)
NIS	Espera sense emmagatzematge (<i>No Intermediate Storage</i>)
NLP	Programació no linial (<i>Non Linear Programming</i>)
OFI	Ordre de fabricació d'un intermedi
OFP	Ordre de fabricació de producte acabat
PIP	Programació entera (<i>Pure Integer Programming</i>)
SA	Recuita simulada (<i>Simulated annealing</i>)
SPT	Menor temps de procés (<i>Shortest Processing Time</i>)
TS	Cerca prohibida (<i>Tabu Search</i>)
UIS	Emmagatzemament il·limitat (<i>Unlimited Intermediate Storage</i>)
ZW	Espera nul·la (<i>Zero Wait</i>)

8.4. Bibliografia

- Aarts, E.H.L. and P.J.M. Van Laarhoven (1985). Statistical cooling: a general approach to combinatorial optimization problems. *Philips J. Res.*, 40, 193-226.
- Abad A., A. Espuña and L. Puigjaner (1991). Computer simulation and optimization of textile fiber manufacturing. *Proceedings of COPE-91, Barcelona*, 177-183, Elsevier.
- Alder, H., N.Karmarker, M. Resende and G. Veigo (1989). Implementation of Karmarkar's algorithm for linear programming, *Mathematical Programming*, 44, 297-335.
- Allgor R.J., M.D. Barrera, P.I. Barton and L.B. Evans (1994). Optimal batch process development. *Fifth International Symposium on Process Systems Engineering, PSE-94*, 153-158.
- Arbones, E.A. (1989). Optimización industrial: I. Distribución de recursos. II. Programación de recursos. Marcombo, Barcelona.
- Baker K.R. (1974). *Introduction to sequencing and scheduling*. Wiley, New York.
- Batch Process Technologies, Inc. (1988). *BATCHESS User's Manual*. Bpt Inc. West Lafayette IN 47906, USA.
- Benson R.S. (1992). Computer aided process engineering - an industrial perspective. *ESCAPE-1 Supplement to Comput. Chem. Engng.*, 16, 1-6.
- Beveridge, G.S.G. and R.S. Schechter (1970). *Optimization: Theory and Practice*. Chemical Engineering Series, McGraw-Hill, New York.
- Birewar D.B. and I.E. Grossmann (1989). Incorporating scheduling in the optimal design of multiproduct batch plants. *Comput. Chem. Engng.*, 13, 141-161.
- Bosley J.R. and T.F. Edgar (1994). Appropriate modeling assumptions for batch distillation optimization and control. *Fifth International Symposium on Process Systems Engineering, PSE-94*, 447-482.
- Brooke A., D. Kendrick and A. Meeraus (1988). *GAMS, A User's Guide*. The scientific Press, Palo Alto.

Bibliografia

- Cardoso, M.F., Salcedo, R.L. and de Azevedo, S.F. (1994). Nonequilibrium simulated Annealing: a faster approach to combinatorial minimization. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 33, 1908-1918.
- Casal, J., H. Montiel, E. Planas, S. Rodríguez, J.A. Vílchez (1995). *Anàlisi de risc en instal·lacions industrials*. Edicions UPC. Barcelona.
- Cerdá, J., M. Vicente, J.M. Gutiérrez, S. Esplugas and J. Mata (1989a). A new methodology for the optimal design and production schedule of multipurpose batch plants. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 28, 988-998.
- Cerdá, J., M. Vicente, J.M. Gutiérrez, S. Esplugas and J. Mata (1989b). Optimal production strategy and design of multiproduct batch plants. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 29, 590-600.
- Companys, R. (1989). Planificación y programación de la producción. *Col. Productiva*, 24, Marcombo Eds., Barcelona.
- Corana, A., M. Marchesi, C. Martini and S. Ridella (1987). Minimizing multimodal functions of continuous variables with the simulated annealing algorithm. *ACM Trans. Math. Software*, 13, 263-280.
- Cott, B.J. and S. Macchietto (1989). Minimizing the effects of batch process variability using on-line schedule modifications. *Comput. Chem. Engng.*, 13, 105-113.
- Cuxart, J. (1994). Desenvolupament d'un sistema de programació d'operacions per a plantes químiques discontinües segons un model multipropòsit i aplicació a una indústria del sector. Projecte Final de Carrera, Universitat Politècnica de Catalunya. E.T.S.E.I.B., Barcelona.
- Dakin, R.J. (1965). A tree search algorithm for mixed integer programming problems. *Operations Research*, 31, 803-834.
- Dantzig, G. B. (1963). *Linear programming and extensions*, Princeton University Press, Princeton, NJ.
- Das, H., P.T. Cummings and M.D. Le Van (1990). Scheduling of serial multiproduct batch processes via simulated annealing. *Comput. Chem. Engng.*, 14, 1351-1362.
- Diwekar, U.M. (1994). How simple can it be? - A look at the models for batch distillation. *Comput. Chem Engng.*, 18, S451-S457.

- Djavdan P. (1992). Design of an on-line scheduling strategy for a combined batch/continuous plant using simulation. *ESCAPE-1 Supplement to Comput. Chem. Engng.*, 16, 281-288.
- Dolan, W.B., P.T. Cummings and M.D. Levan (1990). Algorithmic efficiency of simulated annealing for heat exchanger network design. *Comput. Chem. Engng.*, 14, 1039-1050.
- Dömling, A. and I. Ugi (1993). *Angewandte Chemie, International Edition*, 4, 563.
- Duran, M. A. and I.E. Grossmann (1986). An outer-approximation algorithm for a class of mixed integer nonlinear programs. *Mathematical Programming*, 36, 307-339.
- Dutta, S.K. and A.A. Cunningham (1975). Sequencing two machine flowshops with finite intermediate storage. *Manag. Sci.*, 21, 989-996.
- Edgar and Himmelblau (1988). *Optimization of Chemical Processes*. McGraw-Hill, New York.
- España, A. (1994). Contribució al estudi de plantes químiques multiproducto de proceso discontinuo. Tesis Doctoral. Universitat Politècnica de Catalunya. E.T.S.E.I.B., Barcelona.
- España, A. and L. Puigjaner (1989). Solving the production planning problem for parallel multiproduct plants. *CIPE, IChemE Symposium Series*, 114, 15-26.
- Faqir, N.M. and I.A. Karimi (1989). Optimal design of batch plants with single product routes. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 28, 1191-1202.
- Faqir, N.M. and I.A. Karimi (1990). Design of multipurpose batch plants with multiple production routes. *Proceedings of the Third International Conference on Foundations of Computer-Aided Process Engineering FOCAPD, Snowmass*, 451-468, Elsevier.
- Feltcher, R. (1987). *Practical methods of optimization*. John Wiley & Sons, New York.
- Garfinkel (1994). *Curs d'optimització combinatoria*. Facultat d'Informàtica de Barcelona.
- Geoffrion, A.M. (1972). Generalized Benders Decomposition. *Journal of Optimization Theory and applications*, 10(4), 237-260.
- Georgakis C. and M.L. Preston (eds.) (1989). Special issue on computer applications to batch chemical processes. *Comput. Chem. Engng.*, 13, 1/2.
- Gill, P.E. and W. Murray (1978). Numerically stable dual method for QP. *Math. Prog.*, 14, 349-358.

- Gill, P.E., W. Murray, M.A. Saunders and M.H. Wright (1983). User's Guide for SOL/QPSOL: a Fortran package for quadratic programming. Technical report SOL 83-7.
- Glover, F. (1986). Future paths for integer programming and links to artificial intelligence. *Computers and Operations Research*, 5, 533-549.
- Graells M., A. Espuña and L. Puigjaner (1992). Optimization of process operations in the leather industry. *ESCAPE-1 Supplement to Comput. Chem. Engng.*, 16, S221-S228.
- Graells M., A. Espuña and L. Puigjaner (1994). An efficient industry-oriented approach for the scheduling with intermediate storage of multipurpose batch chemical plants. *ICHEME Symposium Series*, 133, 17-24.
- Graells M., A. Espuña, G. Santos and L. Puigjaner (1991). Improved strategy in the optimal design of multiproduct batch plants. *Proceedings of COPE-91, Barcelona*, 67-73, Elsevier.
- Grau R., M. Graells, J. Corominas, A. Espuña and L. Puigjaner (1993). Energy and waste considerations in scheduling and planning of multiproduct batch chemical processes. *Fifth International Symposium on Process Systems Engineering, PSE-94*, 165-170.
- Grau, R., M. Graells, J. Corominas, A. Espuña and L. Puigjaner (1995). Global strategy for energy and waste analysis in scheduling and planning of multiproduct batch chemical processes. *Comput. Chem. Engng.*, in press.
- Grossmann, I.E. and R.W.H. Sargent (1979). Optimum design of multipurpose chemical plants. *Ind. Eng. Chem. Process. Des. Develop.*, 18, 343-348.
- Grossmann, I.E., I. Quesada, R. Raman and V.T. Voudouris (1992). Mixed-integer optimization techniques for the design and scheduling of batch processes. *NATO Advanced Study Institute in Batch processing Systems Engineering, Antalya, Turkey*.
- Guntermuth W. (1992). Applications of computer intergrated process engineering in the chemical industry. *ESCAPE-1 Supplement to Comput. Chem. Engng.*, 16, 15-18.
- Hasebe S. and I. Hashimoto (1992). Present status of batch process systems engineering in Japan. *NATO Advanced Study Institute in Batch Processing Systems Engineering, Antalya, Turkey*.
- Henning G.P., N.B. Camussi and J. Cerdá (1989). Design and planning of multipurpose plants involving nonlinear processing networks. *Comput. Chem. Engng.*, 13, 141-161.

- Holland J.H. (1992). *Adaptation in natural and artificial systems: An introductory analysis with applications to biology, control and artificial intelligence*. MIT Press / Bradford Books, Cambridge, MA.
- IBM (1978). *Mathematical Programming System Extended (MPSX)*, IBM Manual SH20-0968-1, White Plains, New York.
- IBM (1991). *OSL, Release 2 Guide and Reference*, Kingston, New York.
- Ingber, L.A. and P.A. Rosen (1992). Very fast simulated reannealing. *Mathematical and Computer Modelling*, 16 (11), 87-100.
- Joglekar G.S. and G.V. Reklaitis (1984). A simulator for batch and semi-continuous processes. *Comput. Chem. Engng.*, 8, 315-327.
- Kanakamedala K.B., G.V. Reklaitis and V. Venkatasubramanian (1994). Reactive schedule modification in multipurpose batch chemical plants. *Ind. Engng. Res.*, 33, 77-90.
- Karimi, I.A. and G.V. Reklaitis (1985). Intermediate storage in noncontinuous processes involving stages of parallel units. *AIChE Journal*, 31, 44-52.
- Karmarkar, N. (1984) A new polynomial time algorithm for linear programming, *Combinatorica*, 4, 373-395.
- Kirkpatrick, S., C.D. Gelatt Jr. and M.P. Vecchi (1983). Optimization by simulated annealing. *Science*, 220, 671-680.
- Klossner, J. and D.W.T. Rippin (1984). Combinatorial problems in the design of multiproduct batch plants - extension to multiplant and partly parallel operations. *AIChE Annual Meeting*. San Francisco.
- Knopf, F.C., M.R. Okos and G.V. Reklaitis (1982). Optimum design of batch/semicontinuous processes. *Ind. Eng. Chem. Process. Des. Develop.*, 21, 79-86.
- Kondili E., C.C. Pantelides and R.W.H. Sargent (1988). A general algorithm for scheduling batch operations. *Third International Symposium on Process Systems Engineering, PSE-88*, 13, 307-315.
- Kondili E., C.C. Pantelides and R.W.H. Sargent (1993). A general algorithm for short-term scheduling of batch operations-I. MILP formulation. *Comput. Chem. Engng.*, 17, 211-227.
- Ku, H.M. and I.A. Karimi (1990a). Completion time algorithms for serial multiproduct batch processes with shared storage. *Comput. Chem. Engng.*, 14, 49-69.

- Ku, H.M. and I.A. Karimi (1990b). Scheduling in serial multiproduct batch processes with due-date penalties. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 29, 580-590.
- Ku, H.M. and I.A. Karimi (1991a). An evaluation of simulated annealing for batch process scheduling. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 30, 163-169.
- Ku, H.M. and I.A. Karimi (1991b). Scheduling algorithms for serial multiproduct batch processes with tardiness penalties. *Comput. Chem. Engng.*, 15, 283-286.
- Ku, H.M., D. Rajagopalan and I.A. Karimi (1987). Scheduling in batch processes. *Chem Eng. Prog.*, August, 35-45.
- Laguna M., J.W. Barnes and F. Glover (1993). Intelligent scheduling with Tabu Search: An application to jobs with linear Delay penalties and sequence dependent set up costs and times. *Journal of applied Intelligence*, 3, 159-172.
- Land, A.H. and A.G. Doig (1960). An automatic method for solving discrete programming problems. *Econometrica*, 28, 497-520.
- Lasdon, L.S., A.D. Warren, A. Jain and M. Ratner (1978). Design and Testing of Reduced Gradient Code for Nonlinear Programming, *ACM Transactions on Mathematical Programming*
- Lázaro, M. (1986). Contribución al estudio de plantas químicas multiproducto multipropósito de funcionamiento discontinuo. Tesis Doctoral. Universitat Politècnica de Catalunya. E.T.S.E.I.B., Barcelona.
- Lázaro, M. and L. Puigjaner (1985). Simulation and Optimization of Multiproduct Plants for Batch and Semi-Batch Processes. *ICHEME Symposium Series*, Pergamon Press, 92, 209-222.
- Lázaro, M., A. Espuña and L. Puigjaner (1989a). A comprehensive approach to production planning in multipurpose batch plants. *Comput. Chem. Engng.*, 13, 1031-1047.
- Lázaro, M., A. Espuña and L. Puigjaner (1989b). MOPP-I: An optimization package for multipurpose batch operation. *Qüestió*, 13, 127-172 .
- Loonkar Y.R. and J.D. Robinson (1970). Minimization of capital investment for batch processes. *Ind. Eng. Chem. Process. Des. Dev.*, 9, 520-525.
- MacDonald, W.B. and Hrymak (1991) Interior point algorithms for refinery scheduling problems, *Proc.4th Annual Symp. Process Systems Engineering*, Montebello, Quebec, Canada, III-13.1-16.

- Mah, R.S.H. (1990). Chemical process structures and information flows. Butterworths, Boston.
- Marsten R. (1986). Users Manual for ZOOM/XMP. Department of Management Information Systems, University of Arizona.
- Mauderli A. and D.T.W. Rippin (1979). Production planning and scheduling for multi-purpose batch chemical plants. *Comput. Chem. Engng.*, 3, 199-206.
- Mauderli, A.M. (1979). Computer-Aided process scheduling and production planning for multipurpose batch chem plants. Ph. D. Thesis, ETH, Zurich.
- Mehlhorn, A., Espuña, A., Bonsfills, A., Górak, A. and L. Puigjaner (1996). Modelling and experimental validation of both mass transfer and tray hydraulics in batch distillation. *Comput. & Chem. Engng.* (accepted).
- Metropolis, N., A. Rosenbluth, M. Rosenbluth, A. Teller and E. Teller (1953). Equation of state calculations by fast computing machines. *J. Chem. Phys.*, 21, 1087-1092.
- Metzger, R. W. 1958 Elementary mathematical programming, John Wiley & Sons Inc., New York.
- Mignon D. and J. Hermia (1993). Using batches for modelling and optimizing the brewhouses of an industrial brewery. ESCAPE-2 supplement to *Comput. Chem. Engng.*, 17, 51-56.
- Modi, A. and I.A. Karimi (1989). Design of batch processes with finite intermediate storage. *Comput. Chem. Engng.*, 13, 127-139.
- Murtag, B.A. and M.A. Saunders (1987). MINOS 5.1 User's Guide, Report SOL 83-20R, Satandford University.
- Musier R.F.H. and L. B. Evans (1989). An approximate method for the production scheduling of industrial batch processes with parallel units. *Comput. Chem. Engng.*, 13, 229-238.
- Musier R.F.H. and L. B. Evans (1990). Batch Process Management. *Chem. Eng. Prog.* June, 66-77.
- Nemhauser, G.L. and L. Wolsey (1988). Integer and combinatorial optimization. John Wiley & Sons Inc., New York.
- Niwa T. (1993). Pipeless plants boost batch processing. *Chemical Engineering*, 100, No. 6

- Papageorgaki, A. and G.V. Reklaitis (1990). Optimal design of multipurpose batch plants.
1. Problem formulation. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 29, 2054-2062.
- Papageorgaki, A. and G.V. Reklaitis (1990). Optimal design of multipurpose batch plants.
2. A decomposition solution strategy. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 29, 2063-2073.
- Papageorgiou, L.G. and C.C. Pantelides (1993). A hierarchical approach for campaign planning of multipurpose batch plants. *ESCAPE-2 supplement to Comput. Chem. Engng.*, 17, 27-32.
- Patel, A.N., R.S.H. Mah and I.A. Karimi (1991). Preliminary design of multiproduct noncontinuous plants using simulated annealing. *Comput. Chem. Engng.*, 15, 451-469.
- Pekny J.F., D.L. Miller and G.K. Kudva (1993). An exact algorithm for resource constrained sequencing with application to production scheduling under an aggregate deadline. *Comput. Chem. Engng.*, 17, 671-682.
- Penrose, R. (1989). *The Emperor's new mind*. Oxford University Press. (La nueva mente del emperador, 1991, BM20, Ed. Mondadori S.A.)
- Ponton J.W. (1992). Artificial intelligence techniques in batch process systems engineering. NATO Advanced Study Institute in Batch Processing Systems Engineering, Antalya, Turkey
- Puigjaner L., A. Espuña, I. Palou and J. Torres (1991). A prototype computer integrated manufacturing modular unit for education and training in batch processing operations. *Proceedings of COPE-91, Barcelona*, 427-432, Elsevier.
- Puigjaner, L. y A. Espuña (1991). Introducción a la logística de proceso y producción en plantas de proceso discontinuo. *Ingeniería Química*, 262, 263-272.
- Puigjaner, L., A. Espuña, A. Huercio, E. Sanmartí, M. Graells, J.M. Nougues, G. Santos, A. Joaniquet (1994-1995). *SECONDO, Sistema experto para control de procesos discontinuos*, Informe de progreso. CDTI-ESPRIT-PACE PC-203.
- Puigjaner, L., A. Espuña, E. Font, J. Corominas, M. Graells, F. Wilkendorf (1994-1995). Process integration with combined heat and power. Progress and Final Reports. JOULE Programme, Sub-programme Rational use of energy, Contract JOU2-CT93-0435.
- Puigjaner, L., A. Espuña, I. Palou and J. Torres (1991). A prototype Computer integrated manufacturing modular unit for education and training in batch processing operations. *Computer Oriented Process Engineering - COPE'91* (L. Puigjaner and A. Espuña, eds.) *Process Technology Proceedings*, 10, 427-432. Elsevier, Amsterdam.

- Puigjaner, L., A. Espuña, X. Monfort, A. Melhorn, E. Sanmartí and F. Wilkendorf. Simulación inteligente de plantas de procesamiento de alimentos. Primer Informe de Progreso (Febrero-Julio, 1994). Contrato CIM-FOOD. PC-111, ESPRIT-PACE.
- Rasmussen, B. (1987). Unwanted chemical reactions in the chemical process industries. Ph.D. Thesis. Technical University of Denmark. Risø Library, M-2631. Risø National Laboratory, Roskilde, Denmark.
- Reklaitis G.V. (1992). Overview of scheduling and planning of batch process operations. NATO Advanced Study Institute in Batch processing Systems Engineering, Antalya, Turkey.
- Reklaitis, G.V., D.W.T. Rippin and A. Sunol (eds.) (1992) NATO Advanced study institute in batch processing systems engineering, Antalya, Turkey.
- Rich S.H. and G.J. Prokopakis (1986). Scheduling and sequencing of batch operations in a multipurpose plant. *Ind. Engng. Chem. Process. Des. Dev.*, 25, 979-987.
- Rippin D.W.T. (1992). Current status and challenges of batch processing systems engineering. NATO Advanced Study Institute in Batch Processing Systems Engineering, Antalya, Turkey.
- Rippin D.W.T. (1993). Batch process systems engineering: a retrospective and prospective review. *ESCAPE-2 supplement to Comput. Chem. Engng.*, 17, 1-14.
- Robinson J.D. and Y.R. Loonkar (1972). Minimizing capital investments for multiproduct batch plants. *Process Technol. Int.*, 17, 11.
- Sahinidis N.V. and I.E. Grossmann (1991a). MINLP model for cyclic multiproduct scheduling on continuous parallel lines. *Comput. Chem. Engng.*, 15, 85-103.
- Sahinidis N.V. and I.E. Grossmann (1991b). Reformulation of multiperiod MILP models for planning and scheduling of chemical processes. *Comput. Chem. Engng.*, 15, 255-272.
- Sanmartí, E., A. Espuña and L. Puigjaner (1995). Effects of equipment failure uncertainty in batch production scheduling. *Comput. Chem. Engng.*, 19, S565-S570.
- Savelsbergh, M.W.P., G.C. Sigismandi and G.L. Nemhauser (1991). Functional description of MINTO, a Mixed INTEger Optimizer, Georgia Tech., Atlanta.
- Scicon Ltd., U.K. (1991). SCICONIC/VM 2.11 User's Guide.

- Schrage, L. (1986). Linear, Integer and Quadratic Programming with LINDO, Scientific Press, Palo Alto.
- Shah N. and C.C. Pantelides (1991). Optimal long-term campaign planning and design of batch operations. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 30, 2308-2321.
- Shah N., C.C. Pantelides and R.W.H. Sargent (1993). A general algorithm for short-term scheduling of batch operations-II. Computational issues. *Comput. Chem. Engng.*, 17, 211-227.
- Sparrow, R.E., D.W.T. Rippin and G.J. Forder (1974). MULTI-BATCH: A computer package for the design of multi-product batch plants. *The Chemical Engineer*, 520-525.
- Sparrow, R.E., D.W.T. Rippin and G.J. Forder (1975). The choice of equipment sizes for multiproduct batch plants. *Ind. Eng. Chem. Process. Des. Develop.*, 14, 197-203.
- Sperry, W., G.R. Hext and F.R. Himsforth (1962). Sequential applications of Simplex designs in optimization and evolutionary operation. *Technometrics*, 4, 441-461.
- Suhani, I. and R.S.H. Mah (1982). Optimal design of multipurpose batch plants. *Ind. Eng. Chem. Process. Des. Develop.*, 21, 94-100.
- Takamatsu, T., H. Hashimoto and S. Hasebe (1992). Optimal design and operation of a batch process with intermediate storage tanks. *Ind. Eng. Chem. Process. Des. Develop.*, 21, 431-440.
- Terpstra V.J., R.M. de Bruijckere and H.B. Verbruggen (1994). A prototype of a reactive scheduler for mixed batch/continuous plants. *ICHEME Symposium Series*, 133, 9-16.
- Torres, J., A. Espuña, M. Llop and L. Puigjaner (1990). A computer integrated manufacturing (CIM) environment for managing and control of multiproduct batch plants. *Proceedings of 5th Mediterranean Congress on Chemical Engineering*. 312-313, Barcelona.
- Vaselenak, J.A., I.E. Grossman and A.W. Westerberg (1987). An embedding formulation for the optimum scheduling and design of multipurpose batch plants. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 26, 139-148.
- Wellons M.C. and G.V. Reklaitis (1991). Scheduling of multiproduct batch chemical plants. 1. Formation of single-product campaigns. *Ind. Engng. Res.*, 30, 671-688.

- Wellons M.C. and G.V. Reklaitis (1991). Scheduling of multiproduct batch chemical plants. 2. Multiple-product campaign formation and production planning. *Ind. Engng. Res.*, 30, 688-705.
- Westerberg A.W. (1992). Optimization. NATO Advanced Study Institute, Batch Processing Systems Engineering, Antalya, Turkey
- Wiede, W., K. Kuriyan and G.V. Reklaitis (1981). Discrete variable optimization strategies for the design of multiproduct processes. AIChE Annual Meeting, New Orleans, USA.
- Williams, P. (1988). Model building in mathematical programming. Wiley, Chichester.
- Yeh, N.C. and G.V. Reklaitis (1987). Synthesis and sizing of batch/semicontinuous processes: single product plants. *Comput. Chem. Engng.*, 11, 6, 639-654.
- Zetner M.G. and G.V. Reklaitis (1991). An interval based approach for resource constrained batch process scheduling. Part 1: Interval processing framework. *Proceedings of COPE-91*, Barcelona, 151-157, Elsevier.
- Zetner M.G. and G.V. Reklaitis (1992). An interval based mathematical model for the scheduling of resource constrained batch chemical processes. NATO Advanced Study Institute, Batch Processing Systems Engineering, Antalya, Turkey

